

Nadia Martaj  
Mohand Mokhtari

# Apprendre et maîtriser LabVIEW par ses applications

 Springer

# Apprendre et maîtriser LabVIEW par ses applications



Nadia Martaj • Mohand Mokhtari

# Apprendre et maîtriser LabVIEW par ses applications

 Springer

Nadia Martaj  
EPF-Ecole d'Ingénieurs  
Montpellier, France

Mohand Mokhtari  
Paris, France

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>.

ISBN 978-3-642-45334-2      ISBN 978-3-642-45335-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-642-45335-9  
Springer Heidelberg New York Dordrecht London

Library of Congress Control Number: 2014936040

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

This work is subject to copyright. All rights are reserved by the Publisher, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, reuse of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in any other physical way, and transmission or information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed. Exempted from this legal reservation are brief excerpts in connection with reviews or scholarly analysis or material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use by the purchaser of the work. Duplication of this publication or parts thereof is permitted only under the provisions of the Copyright Law of the Publisher's location, in its current version, and permission for use must always be obtained from Springer. Permissions for use may be obtained through RightsLink at the Copyright Clearance Center. Violations are liable to prosecution under the respective Copyright Law.

The use of general descriptive names, registered names, trademarks, service marks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

While the advice and information in this book are believed to be true and accurate at the date of publication, neither the authors nor the editors nor the publisher can accept any legal responsibility for any errors or omissions that may be made. The publisher makes no warranty, express or implied, with respect to the material contained herein.

Printed on acid-free paper

Springer is part of Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

A ma mère Fatna, mon père Bouchaïb  
Mes sœurs et mes frères

Nadia MARTAJ  
[nadia.martaj@epf.fr](mailto:nadia.martaj@epf.fr)

A mes enfants Sonia, Omar et Hachimi

Mohand MOKHTARI  
[mohand.mokhtari@gmail.com](mailto:mohand.mokhtari@gmail.com)

Tous nos remerciements à Rachid Bennacer,  
Professeur des Universités, ENS de Cachan,  
d'avoir lu et corrigé le manuscrit.



## Préface

« Apprendre et Maîtriser LabVIEW par ses applications" est un ouvrage complet qui permet une gestion efficace du logiciel LABVIEW à travers ses applications dans les domaines académiques et industriels. En effet, cette approche originale permet à l'ingénieur, le technicien ou l'étudiant à comprendre le langage rapidement et efficacement.

Ce livre, constitué de plusieurs chapitres, est un condensé des connaissances que possèdent les auteurs de par leur expérience académique et industrielle. Il sera un précieux document qui aidera, tant les enseignants, étudiants que les ingénieurs de l'industrie à mener à bien leurs projets.

Cet ouvrage est organisé en 3 parties dont la première concerne l'apprentissage du langage, toujours à travers des applications.

La seconde partie de l'ouvrage concerne l'outil additionnel « Conception du contrôle et simulation » qui permet de simuler des systèmes dynamiques et de mettre au point des régulations, analogiques ou discrètes, en utilisant le traditionnel PID sous ses différentes structures ou par l'approche de la logique floue. Plusieurs applications ont été réalisées avec le souci pédagogique de l'apprentissage du langage.

Enfin, la troisième partie de l'ouvrage traite d'applications de traitement de signal, déterministe et aléatoire ainsi que de la régulation.

Les applications de LabVIEW ont considérablement évolué depuis 27 ans. Ce livre représente une étape importante dans la façon d'apprendre à utiliser ce logiciel. Je suis sûr que le lecteur trouvera beaucoup de plaisir et d'intérêt à lire cet ouvrage !

Dr. Olivier Horner

Directeur de Recherche & Innovation, EPF-Ecole d'Ingénieurs







## Introduction

Cet ouvrage, qui traduit l'expérience des auteurs dans le domaine de l'enseignement supérieur et de l'industrie, est organisé en trois parties complémentaires que sont l'apprentissage de LabVIEW, le toolkit "Conception de contrôle et simulation" et les applications.

Dans tous les chapitres, l'apprentissage du langage se fait à travers des exemples d'applications dans de nombreux domaines, académiques et industriels.

Dans le chapitre 1, LabVIEW est présenté à travers des applications dans divers domaines tels que la résolution des systèmes linéaires, déterminés ou surdéterminés, la résolution des équations différentielles, le traitement de signal, l'analyse numérique, etc. Ce chapitre de prise en main, permet d'appréhender la base du langage avant l'étude des autres fonctionnalités dans les chapitres qui suivent.

Après l'étude et la manipulation des chaînes de caractères, complexes et polynômes, dans les chapitres 2 à 4, le cinquième chapitre permet l'étude et la manipulation des tableaux et des clusters permettant des types hétérogènes pour leurs éléments.

Les chapitres 6, 7 et 8 correspondent à l'étude des boucles et structures, les sous-VIs (sortes de sous-programmes) et l'interpolation de données.

Dans le chapitre 9, on introduit le nœud et la fenêtre MathScript LabVIEW. Ce nœud MathScript est une boîte qui s'intègre au langage graphique de LabVIEW ou langage G, et qui exécute des scripts de MATLAB en fonction de ses variables d'entrée et de celles définies à l'intérieur. Toutes ces variables du script peuvent être renvoyées comme sorties du nœud.

La possibilité d'éditer un script ou importer un script « .m » est possible via la fenêtre de droite qui comporte des menus dédiés.

MathScript LabVIEW, à l'instar de l'environnement MATLAB, est subdivisée en 3 fenêtres, la fenêtre de commande dans laquelle on peut exécuter des commandes de façon interactive, la fenêtre de résultat qui affiche le résultat de cette commande et une fenêtre d'édition de script.

Les nœuds de propriété, du chapitre 10, permettent de lire ou d'écrire les propriétés d'un objet ou un instrument virtuel (Virtual Instrument VI).

Le stockage des données et ou des résultats dans des fichiers texte, tableur, ou autre est explicité dans le chapitre 11.

Le chapitre 12 permet d'étudier les fonctionnalités graphiques de LabVIEW.

La partie II du présent ouvrage (chapitres 13 à 17), est consacrée à l'outil additionnel ou toolkit "Conception de contrôle et simulation" qui permet la modélisation et la simulation des systèmes dynamiques, analogiques et discrets.

L'outil possède plusieurs palettes de VIs pour l'identification AR (AutoRégressif), ARMA (AutoRégressif et Moyenne Ajustée ou mobile), la réalisation de régulations par différentes structures du traditionnel PID, le retour d'état ainsi que par l'approche floue (Fuzzy Logic).

Cet ouvrage propose, dans la partie III, (chapitres 18 à 22), des applications, respectivement, d'analyse numérique, probabilités et statistiques, régulation, traitement de signal, analogique et discret, déterministe et aléatoire.

L'originalité de cet ouvrage réside dans l'apprentissage par applications. Le lecteur peut partir de l'instrument virtuel (VI) et d'obtenir celui qui correspond à son propre besoin.

L'ingénieur, l'étudiant ou l'enseignant en tireront un grand profit pour apprendre, efficacement et surtout rapidement, ce langage et s'inspirer directement des applications proches de leurs besoins.

Rachid BENNACER

Professeur des Universités

Ecole Nationale Supérieure (ENS), Cachan



# Table des matières

## Chapitre 1

<b>I. Résolution de systèmes d'équations linéaires .....</b>	<b>2</b>
I.1. Système déterminé .....	2
I.2. Système surdéterminé .....	5
<b>II. Régression linéaire .....</b>	<b>11</b>
<b>III. Régression exponentielle et polynomiale .....</b>	<b>15</b>
<b>IV. Equations aux récurrences.....</b>	<b>18</b>
<b>V. Filtres numériques .....</b>	<b>21</b>
V.1. Filtre de Butterworth .....	21
V.2. Filtre à réponse impulsionnelle finie (Finite Impulse Response, FIR) .....	23
<b>VI. Régulation .....</b>	<b>26</b>
VI.1. Réponse indicielle d'un processus du 1er ordre .....	26
VI.2. Régulation proportionnelle et intégrale, PI.....	28
<b>VII. Analyse numérique .....</b>	<b>31</b>
VII.1. Régression linéaire par la méthode de Newton-Raphson.....	31
VII.2. Résolution d'équations différentielles.....	35
VII.2.1. Méthode d'Euler.....	35
VII.2.2. Méthode de Runge-Kutta .....	36
<b>VIII. Probabilités et statistiques .....</b>	<b>38</b>
VIII.1. Théorème central limite .....	38
VIII.2. Corrélation.....	39
VIII.2.1. Calcul théorique de la corrélation et de la covariance .....	40
VIII.2.2. Corrélation par le calcul matriciel .....	43
<b>IX. Opérations de base d'E/S sur fichiers .....</b>	<b>47</b>
IX.1. Fichiers texte .....	48
IX.1.1. Ecriture .....	48
IX.1.2. Lecture .....	48
IX.2. Fichiers tableur .....	50
IX.2.1. Sauvegarde.....	50
IX.2.2. Lecture .....	51
IX.3. Fichier de mesures.....	52
IX.3.1. En-tête du fichier .....	52
IX.3.2. Génération des signaux .....	53
IX.3.3. Enregistrement des signaux .....	53
IX.3.4. Tracé des signaux .....	54

## Chapitre 2

<b>I. Quelques opérations sur les chaînes de caractères .....</b>	<b>58</b>
I.1. Concaténation de chaînes .....	59
I.2. Exemple 2 de concaténation de chaînes .....	60

I.3. Suppression de chaîne vide au début et à la fin d'une chaîne de caractères .....	61
<b>II. Commandes chaîne et chemin .....</b>	<b>62</b>
II.1. Commande chemin, commande et indicateur chaîne .....	63
II.2. Chaîne déroulante, recherche, remplacement et portion de chaîne .....	64
II.2.1. Chaîne déroulante .....	64
II.2.2. Recherche, remplacement et portion de chaîne .....	65
<b>III. Tableaux de chaînes .....</b>	<b>66</b>
III.1. Indexation et suppression d'une portion de tableau .....	66
III.2. Formatage .....	67
<b>IV. Fonctions de conversion .....</b>	<b>67</b>
IV.1. Conversion de chemin, chaîne et nombre .....	67
IV.2. Chaîne en tableau d'octets .....	69
IV.3. Indexation de tableaux de chaînes, recherche et modification de la casse .....	70
IV.4. Recherche de palindrome .....	71
<b>V. Création et utilisation des tables .....</b>	<b>72</b>
V.1. Création de la table par un nœud de propriété .....	72
V.2. Utilisation des tables .....	74
V.3. Tables Express .....	76
V.4. Autres propriétés d'une table .....	77
V.4.1. Création de tables par un nœud MathScript .....	78
V.4.2. Création de tables par des nœuds de méthode .....	78
<b>VI. Dates et heures et horodatage .....</b>	<b>80</b>
VI.1. Attente, temps de calcul et temps écoulé .....	80
VI.1.1. Attente .....	80
VI.1.2. Temps de calcul, temps écoulé .....	81
VI.2. Dates, heures et horodatage .....	83
VI.2.1. Dates .....	83
VI.2.2. En-tête d'un fichier texte .....	84
VI.2.3. Horodatage .....	85
 <b>Chapitre 3</b>	
<b>I. Palette Complexes .....</b>	<b>90</b>
<b>II. Opérations sur les nombres complexes .....</b>	<b>91</b>
II.1. Coordonnées cartésiennes et polaires .....	91
II.2. Approximation de la valeur de $\pi$ .....	92
II.3. Solutions de l'équation du 2nd degré .....	93
<b>III. Fonctions de complexes .....</b>	<b>94</b>
III.1. Racine, logarithme, exponentielle et puissance réelle de complexes .....	94
III.2. Clusters complexes .....	95
III.3. Matrices complexes .....	96
III.3.1. Manipulation de matrices complexes .....	96
III.3.2. Analyse de circuit RLC .....	97
<b>IV. Opérations sur les complexes dans un nœud MathScript .....</b>	<b>100</b>
IV.1. Fonctions spéciales de nombres complexes .....	100
IV.2. Représentation graphique .....	102
IV.3. Racines n-ièmes d'un nombre complexe .....	103
IV.4. Logarithme d'un nombre complexe .....	105

IV.5. Diagramme de Bode d'un circuit RLC .....	106
<b>V. Les complexes dans un script MATLAB.....</b>	<b>109</b>
V.1. Racines n-ièmes d'un nombre complexe .....	109
V.2. Opérations scalaires et matricielles sur les complexes .....	110

## Chapitre 4

<b>I. Polynômes au sein du nœud de MathScript et la fenêtre MathScript.....</b>	<b>114</b>
I.1. Opérations sur les polynômes .....	114
I.1.1. Multiplication, division et racines de polynômes .....	115
I.1.2. Division de polynômes .....	116
I.1.3. Racines d'un polynôme .....	118
I.2. Manipulation de fonctions polynomiales .....	120
I.2.1. Evaluation de la dérivée et de la primitive d'une fonction polynomiale .....	120
I.2.2. Dérivée, intégrale par les fonctions diff et cumsum .....	121
I.3. Interpolation et régression au sens des moindres carrés .....	123
<b>II. Utilisation des VIs LabVIEW .....</b>	<b>125</b>
II.1. Somme, produit et division de polynômes .....	125
II.2. Décomposition en éléments simples, valeurs et vecteurs propres.....	127
II.2.1. Décomposition en éléments simples .....	127
II.2.2. Valeurs et vecteurs propres .....	128
II.3. Polynômes rationnels.....	130
II.3.1. Addition, soustraction, décomposition en éléments simples et évaluation.....	131
II.3.2. Retour négatif de polynômes rationnels .....	132
<b>III. Polynômes de Bessel et Chebyshev.....</b>	<b>135</b>
III.1. Polynômes de Bessel .....	135
III.2. Polynômes de Chebyshev .....	136
III.2.1. Forme théorique du polynôme de Chebyshev .....	136
III.2.2. Utilisation du VI Chebyshev Polynomial.vi .....	137

## Chapitre 5

<b>I. Les tableaux .....</b>	<b>140</b>
I.1. Création de tableaux dans le panel et le diagramme .....	140
I.1.1. Création de tableaux dans le panel .....	140
I.1.2. Création de tableaux dans le diagramme .....	141
I.2. Création de tableaux par les boucles For et While .....	142
I.2.1. Utilisation de boucles For.....	142
I.2.2. Utilisation de boucles For et While .....	143
I.3. Fonctions de tableaux.....	144
I.3.1. Taille et initialisation d'un tableau à une dimension .....	144
I.3.2. Construire un tableau, partie d'un tableau, concaténation .....	147
I.3.3. Indexation d'un tableau .....	149
I.3.4. Interpolation d'un tableau 1D.....	151
I.4. Polymorphisme des fonctions sur les tableaux .....	152
I.5. Les matrices et l'algèbre linéaire .....	153
I.5.1. Sous-palette Tableau → Matrice .....	153
I.5.2. Sous-palette Mathématiques → Algèbre linéaire .....	155
I.6. Applications sur les tableaux.....	162
I.6.1. Résolution des systèmes linéaires par la méthode Newton-Raphson .....	162
I.6.2. Circuit électrique .....	167
I.6.3. Pseudo-inverse d'une matrice.....	169

<b>II. Les clusters .....</b>	<b>177</b>
II.1. Création de clusters.....	177
II.1.1. Création de clusters dans la face-avant .....	177
II.1.2. Création de clusters dans le diagramme .....	179
II.2. Disposition du cluster et modification de l'ordre de ses éléments .....	182
II.2.1. Disposition du cluster et choix de l'ordre de ses éléments .....	182
II.2.2. Modification de l'ordre des éléments d'un cluster .....	182
II.3. Opérations sur les clusters .....	183
II.3.1. Opérations sur un cluster constant dans le diagramme .....	183
II.3.2. Produit de clusters .....	184
II.3.3. Modification des éléments d'un cluster .....	185
II.4. Transformation de tableau en cluster et inversement.....	186
II.4.1. Cluster numérique et chaîne de caractères .....	186
II.4.2. Calculs sur un cluster numérique .....	188
II.5. Tableau de clusters.....	189
II.6. Les graphes et les clusters.....	190
II.6.1. Graphes déroulants .....	190
II.6.2. Graphes .....	191
II.7. Cluster et nœud d'expression.....	193
II.8. Somme de clusters et opérations sur les éléments de clusters.....	194
II.9. Résumé des fonctions de clusters .....	195

## Chapitre 6

<b>I. Boucle For .....</b>	<b>200</b>
I.1. Factorielle d'un nombre entier .....	200
I.2. Equation de récurrence.....	202
I.2.1. Boucle For et registre à décalage .....	202
I.2.2. La boucle For et les tableaux .....	211
<b>II. Boucle While.....</b>	<b>215</b>
<b>III. Boite de calcul .....</b>	<b>216</b>
III.1. Equation de récurrence .....	218
III.2. Limitation d'un signal entre des valeurs, minimale et maximale .....	219
III.3. Calcul de la moyenne et de la variance d'un signal aléatoire .....	220
<b>IV. Structure Condition.....</b>	<b>222</b>
IV.1. Structure à 2 conditions - limitation d'un signal .....	222
IV.2. Structure à plusieurs conditions .....	224
<b>V. Structure Événement .....</b>	<b>227</b>
V.1. Gestion des propriétés d'un tracé .....	230
V.1.1. Modification de propriétés d'objets graphiques .....	230
V.1.2. Modification de la couleur du nuage de points .....	231
V.1.3. Modification du type de marqueur sur le nuage de points .....	232
V.1.4. Gestion de l'appui sur le bouton stop.....	233
V.1.5. Gestion de l'épaisseur du trait.....	234
V.1.6. Gestion de la couleur du texte de l'affichage des paramètres a et b.....	234
V.1.7. Police des caractères de l'axe des abscisses et du titre du graphique .....	235
V.1.8. Modification de la couleur de la droite de régression .....	235
V.2. Événements liés au déplacement de la souris, dialogue utilisateur.....	237
V.2.1. Sortie de la souris dans la fenêtre du panel du VI .....	238
V.2.2. Entrée de la souris dans la fenêtre du panel du VI .....	238
V.2.3. Appui sur le bouton Stop.....	239
V.2.4. Fermeture de la face-avant.....	240

<b>VI. Structure Elément en place</b> .....	<b>241</b>
VI.1. Opération sur les tableaux et waveforms.....	242
VI.2. Intérêt de la structure Elément en place .....	246
VI.2.1. Temps de calcul avec structure Elément en place .....	246
VI.2.2. Temps de calcul sans structure Elément en place .....	247
<b>VII. Structure Séquence déroulée</b> .....	<b>249</b>
VII.1. Structure à 2 étapes .....	250
VII.2. Structure séquence déroulée à 3 étapes .....	252
<b>VIII. Structure Séquence empilée</b> .....	<b>253</b>
<b>IX. Le nœud MathScript</b> .....	<b>255</b>
IX.1. Récupération d'une sinusoïde par filtrage passe-bande.....	255
IX.2. Interpolation exponentielle.....	259
IX.2.1. Méthode de Newton .....	260
IX.2.2. Utilisation des VIs d'interpolation de LabVIEW.....	261
IX.2.3. Utilisation de la méthode des moindres carrés.....	262
IX.3. Distributions, triangulaire et gaussienne, par la méthode de Box-Muller .....	265
IX.4. Equation du 2nd degré.....	266
IX.5. Régulation proportionnelle et intégrale, PI.....	268
IX.5.1. Sous-VI du processus.....	269
IX.5.2. Sous-VI du régulateur PID .....	270
IX.5.3. Programme principal de la régulation PID .....	271
IX.5.4. Régulation PI dans une boucle de contrôle et simulation .....	272

## Chapitre 7

<b>I. Sous-VI d'un contrôleur proportionnel et intégral</b> .....	<b>274</b>
I.1. VI du régulateur PI.....	274
I.2. Edition de l'icône du sous-VI.....	275
I.3. Disposition des connecteurs des entrées-sorties du sous-VI .....	277
<b>II. Sous-VI du processus du 1er ordre discret</b> .....	<b>279</b>
<b>III. Régulation d'un système du 1er ordre</b> .....	<b>282</b>
III.1. Réponse indicielle du système à réguler.....	282
III.2. Résultats de la régulation.....	283
<b>IV. Sous-VI de limitation d'un signal</b> .....	<b>284</b>
<b>V. Sous-VI du modèle de moteur à courant continu</b> .....	<b>287</b>
<b>VI. Sous-systèmes de simulation</b> .....	<b>291</b>
VI.1. Création d'un sous-système de simulation .....	291
VI.2. Sous-système de simulation d'un pendule amorti .....	291
VI.3. Sous-système de simulation d'un modèle de moteur DC .....	294

## Chapitre 8

<b>I. Régression linéaire</b> .....	<b>298</b>
I.1. Calcul scalaire des paramètres a et b.....	298
I.2. Calcul matriciel .....	300



<b>II. Interpolation exponentielle et logarithmique .....</b>	<b>302</b>
II.1. Interpolation exponentielle .....	302
II.2. Interpolation logarithmique .....	305
<b>III. Interpolation polynomiale d'une fonction sigmoïde .....</b>	<b>307</b>
III.1. Interpolation par la commande polyfit .....	307
III.2. Interpolation par la fonction Ajustement polynomial général .....	308
<b>IV. Interpolation gaussienne .....</b>	<b>311</b>
<b>V. Interpolation par Splines .....</b>	<b>313</b>
V.1. Utilisation du V1 Cubic Splin Fit .....	313
V.2. Utilisation de la commande interp1 du nœud MathScript .....	314

## Chapitre 9

<b>I. Le nœud MathScript .....</b>	<b>318</b>
I.1. Définition et exemple .....	318
I.2. Import et export de scripts .....	322
I.2.1. Import .....	322
I.2.2. Export .....	327
I.3. Fonctions mathématiques intégrées dans le module MathScript .....	328
I.3.1. Surface 3D .....	329
I.3.2. Courbe 3D .....	332
I.3.3. Débogage du code d'un nœud MathScript .....	333
I.4. Quelques exemples .....	334
I.4.1. Réponse indicielle d'un système analogique du 2nd ordre .....	334
I.4.2. Transformée de Fourier .....	335
I.4.3. Filtre FIR passe-bas .....	336
<b>II. La fenêtre MathScript LabVIEW .....</b>	<b>337</b>
II.1. Description de ce module .....	337
II.2. Exemple .....	341
<b>III. Quelques fonctions de MathScript .....</b>	<b>342</b>
III.1. Fonctions relationnelles .....	342
III.2. Systèmes discrets .....	344
III.2.1. Utilisation du nœud MathScript .....	344
III.2.2. Utilisation de la fenêtre MathScript .....	345
<b>IV. Calculs matriciels .....</b>	<b>347</b>
IV.1. Système matriciel déterminé .....	347
IV.2. Système matriciel surdéterminé, identification d'un processus du 1er ordre .....	349
<b>V. Réponse indicielle de processus du 1er ordre et 2nd ordre .....</b>	<b>353</b>
V.1. Système du 1er ordre .....	353
V.1.1. Système du 1er ordre analogique .....	353
V.1.2. Système discret du 1er ordre .....	354
V.2. Réponse indicielle d'un système du 2ème ordre .....	355
V.2.1. Second ordre analogique .....	355
V.2.2. Second ordre discret .....	358
<b>VI. Fonctions graphiques .....</b>	<b>360</b>
VI.1. Graphiques 2D .....	360
VI.2. Graphiques 3D .....	360

<b>VII. Appel de fonctions MathScript .....</b>	<b>361</b>
---	------------

## Chapitre 10

<b>I. Propriétés d'une table Express .....</b>	<b>366</b>
<b>II. Propriétés des onglets .....</b>	<b>371</b>
II.1. Onglet afficheurs.....	371
II.2. Onglet graphe des valeurs.....	372
II.3. Histogramme.....	373
II.4. Diagramme .....	373
II.4.1. Génération du signal et tracé de l'histogramme .....	373
II.4.2. Utilisation des nœuds de propriété .....	375
II.4.3. Diagramme général .....	381
II.4.4. Gestion des propriétés d'un graphe .....	381
II.4.5. Nœuds de propriété de classe VI et classe Application .....	390
<b>III. Les nœuds de méthode .....</b>	<b>393</b>

## Chapitre 11

<b>I. Fichiers de type tableur.....</b>	<b>397</b>
I.1. Sauvegarde d'un fichier tableur .....	397
I.2. Lecture d'un fichier tableur.....	398
<b>II. Fichier texte .....</b>	<b>400</b>
II.1. VIs de la palette E/S sur fichiers .....	400
II.2. VIs de type Express .....	404
II.2.1. Ecriture de fichier.....	404
II.2.2. Lecture du fichier .....	407
<b>III. Fichiers binaires .....</b>	<b>407</b>
III.1. Sauvegarde dans un fichier binaire.....	407
III.2. Lecture d'un fichier binaire .....	409
<b>IV. Fichiers de waveforms.....</b>	<b>410</b>
IV.1. Ecriture et lecture dans une séquence déroulée.....	410
IV.2. Lecture et écriture dans une séquence empilée .....	411
IV.3. Export de la waveform dans un fichier tableur.....	412
IV.4. Export de 3 waveforms .....	414
IV.4.1. Sous-VI générateur de 3 waveforms.....	414
IV.4.2. Export d'un tableau de waveforms .....	416
<b>V. Fichiers TDMS .....</b>	<b>417</b>
V.1. Utilisation des VI Express .....	417
V.2. VIs de la sous-palette TD en continu.....	420
V.2.1. Ecriture de fichiers TDMS .....	421
V.2.2. Lecture de fichiers TDMS.....	425
V.2.3. Propriétés d'un fichier TDMS.....	425
V.2.4. Création de groupes et propriétés pour un fichier TDMS .....	426
<b>VI. Export de données de LabVIEW vers Excel .....</b>	<b>429</b>
VI.1. Menu Exporter par un clic droit .....	429
VI.2. Utilisation d'un nœud de méthode .....	431

<b>VII. Fichiers Zip</b> .....	<b>432</b>
VII.1. Création d'un nouveau fichier Zip .....	432
VII.2. Ajout du fichier Zip .....	432
VII.3. Fermeture du fichier Zip .....	433
<b>VIII. Fichiers XML</b> .....	<b>434</b>
VIII.1. Ecriture des fichiers XML .....	434
VIII.2. Lecture des fichiers XML .....	436
<b>IX. Stockage de données sous différents formats</b> .....	<b>437</b>
IX.1. Ecriture avec les VIs de stockage de données .....	437
IX.1.1. Ouverture, création d'un nouveau fichier .....	437
IX.1.2. Définition des propriétés.....	438
IX.2. Lecture avec les VIs de type Express .....	440
<b>X. Gestion des répertoires</b> .....	<b>441</b>

## Chapitre 12

<b>I. Le graphe déroulant</b> .....	<b>444</b>
<b>II. Le graphe</b> .....	<b>446</b>
<b>III. Personnalisation des graphes et graphes déroulants</b> .....	<b>447</b>
<b>IV. Courbes de Lissajous</b> .....	<b>452</b>
IV.1. Graphe XY simple avec le graphe XY Express .....	452
IV.2. Graphe XY simple avec le graphe XY .....	454
IV.2.1. Courbe Image de la lettre $\alpha$ .....	454
IV.2.2. Lemniscate de Bernoulli .....	455
IV.3. Courbes de Lissajous dans Graphe XY multiple.....	457
<b>V. Graphe numérique</b> .....	<b>459</b>
<b>VI. Graphes en 3D</b> .....	<b>460</b>
VI.1. Surface en 3D.....	460
VI.1.1. Graphe de surface en 3D du panel .....	460
VI.1.2. Palette graphisme et son du diagramme.....	463
VI.2. Surface paramétrique 3D.....	464
VI.3. Graphe mixte et numérique .....	467
<b>VII. Graphes spéciaux</b> .....	<b>469</b>
VII.1. Diagrammes à bâtons (stem).....	469
VII.2. Diagramme à barres .....	471
VII.3. Diagramme en camembert .....	472
VII.4. Courbes 3D .....	473
VII.5. Contours.....	474

## Chapitre 13

<b>I. La boucle de contrôle et simulation</b> .....	<b>478</b>
<b>II. Signal Generation</b> .....	<b>480</b>

<b>III. Signal Arithmetic</b> .....	<b>481</b>
<b>IV. Lookup Tables</b> .....	<b>482</b>
<b>V. Utilities</b> .....	<b>484</b>
<b>VI. Graph Utilities</b> .....	<b>486</b>
<b>VII. Continuous Linear Systems</b> .....	<b>487</b>
VII.1. Fonction de transfert et modèle d'état scalaire.....	489
VII.2. Modèle d'état continu d'un double intégrateur .....	492
VII.3. Modélisation d'un système masse - ressort avec frottements visqueux .....	495
<b>VIII. Discrete Linear Systems</b> .....	<b>497</b>
VIII.1. Régulation I avec une équation de récurrence .....	498
VIII.1.1. Sous-système de simulation du modèle du processus .....	498
VIII.1.2. Sauvegarde des résultats dans un fichier tableur .....	499
VIII.2. Régulation PI d'un procédé décrit par un modèle d'état .....	500
<b>IX. Controllers</b> .....	<b>503</b>
<b>X. Model Hierarchy – Spécification de paramètres et lecture de signaux</b> .....	<b>504</b>
X.1. Spécification de paramètres.....	506
X.2. Lecture de signaux.....	508
X.3. Spécification et lecture de paramètres .....	510
<b>XI. Estimation</b> .....	<b>512</b>
XI.1. Filtre de Kalman - Modèle continu du 1er ordre .....	513
XI.2. Filtre de Kalman discret - Estimation d'une constante.....	514

## Chapitre 14

<b>I. Model Construction (construction de modèle)</b> .....	<b>518</b>
I.1. Construction de fonctions de transfert.....	519
I.2. Moteur à courant continu .....	520
I.2.1. Réponse indicielle de la vitesse et du courant d'induit.....	520
I.2.2. Régulation PI avec pondération de la consigne .....	522
I.2.3. Filtre de Kalman – Estimation du courant d'induit et de la vitesse angulaire.....	524
<b>II. Model Information (information sur les modèles)</b> .....	<b>525</b>
II.1. Fonction de transfert constante, vérification et spécification de propriétés .....	526
II.2. Modèle d'état constant.....	527
<b>III. Model Conversion (conversion de modèle)</b> .....	<b>528</b>
III.1. Conversion d'une fonction de transfert en modèle d'état .....	528
III.2. Conversion modèle d'état discret en fonction de transfert .....	531
III.3. Modèle d'état, fonction de transfert, pôles, zéros, réponse indicielle .....	533
<b>IV. Model Interconnection (Interconnexion de modèles)</b> .....	<b>536</b>
IV.1. Ajout de fonctions de transfert .....	536
IV.2. Bouclage négatif (contre-réaction).....	537
<b>V. Time Response (temps de réponse)</b> .....	<b>538</b>
V.1. Fonction de transfert constante dans le diagramme .....	539
V.2. Fonction de transfert définie dans un nœud MathScript .....	540

<b>VI. Frequency Response (réponse fréquentielle)</b> .....	<b>541</b>
<b>VII. Dynamic Characteristics (caractéristiques dynamiques)</b> .....	<b>542</b>
<b>VIII. State-Space Model Analysis (analyse dans l'espace d'état)</b> .....	<b>544</b>
VIII.1. Contrôlabilité et observabilité.....	546
VIII.2. Modèles d'états similaires .....	547
VIII.2.1. Similarité de 2 modèles d'état d'un système du 1er ordre .....	547
VIII.2.2. Circuit RLC.....	547
<b>IX. Implementation</b> .....	<b>550</b>
IX.1. Réponse indicielle d'un processus discret du 1er ordre.....	551
IX.2. Filtre de Kalman discret .....	552
IX.3. Commande par retour d'état.....	555
IX.3.1. Régulation autour de l'origine .....	555
IX.3.2. Régulation autour d'une référence non nulle .....	558

## Chapitre 15

<b>I. Identification paramétrique</b> .....	<b>560</b>
I.1. Identification d'une fonction de transfert discrète.....	562
I.2. Identification d'un modèle d'état discret.....	563
I.3. Identification d'une fonction de transfert par un VI de type Express.....	565
I.4. Identification d'un modèle linéaire général.....	567
I.5. Identification des modèles ARX et ARMAX.....	571
I.6. Identification du modèle AR (AutoRégressif).....	573
<b>II. Identification par méthodes récursives – Modèle de Box-Jenkins</b> .....	<b>575</b>
<b>III. Identification par Grey-Box</b> .....	<b>578</b>
<b>IV. Nonparametric Model Estimation (estimation non paramétrique)</b> .....	<b>581</b>
<b>V. Model Management (gestion des modèles)</b> .....	<b>583</b>
V.1. Exemple 1 – Management .....	583
V.2. Exemple 2 – Management .....	586
<b>VI. Dataprocessing (traitement des données)</b> .....	<b>588</b>
<b>VII. Model Validation</b> .....	<b>589</b>
<b>VIII. Model Conversion</b> .....	<b>591</b>
VIII.1. Exemple 1 - Model Conversion .....	591
VIII.2. Exemple 2 - Model Conversion .....	594
<b>IX. Model Analysis</b> .....	<b>595</b>
<b>X. Utilities (Utilitaires)</b> .....	<b>597</b>

## Chapitre 16

<b>I. PID classique et processus du second ordre</b> .....	<b>602</b>
I.1. PID analogique.....	603
I.2. PID discret.....	605

<b>II. Régulation PID de type académique .....</b>	<b>608</b>
<b>III. Advanced PID .....</b>	<b>609</b>
<b>IV. Sous-système de simulation d'un PID parallèle .....</b>	<b>612</b>
<b>V. Applications .....</b>	<b>613</b>
V.1. Régulation PI analogique.....	613
V.2. Régulation PID .....	615
V.3. Discrétisation d'un régulateur PI analogique par la méthode de Tustin .....	616
V.4. Régulateur PI discret sous sa forme parallèle .....	617
V.5. Régulateur PID discret parallèle .....	618
<b>VI. Régulation de position – Moteur à courant continu .....</b>	<b>621</b>
VI.1. Réponse indicielle de vitesse et de position .....	622
VI.2. Régulation de la vitesse angulaire par placement de pôles.....	623
VI.2.1. Compensation de pôles, placement de pôles avec action intégrale .....	623
VI.2.2. Placement de pôles dans l'espace d'état .....	625
VI.2.3. Régulation PID de la position .....	631
<b>VII. Modélisation d'un système multivariable .....</b>	<b>632</b>
VII.1. Simulation et contrôle d'un système multivariable .....	632
VII.2. Fonction de transfert multivariable .....	633
VII.3. Réponses indicielles du système multivariable .....	636
VII.4. Régulation PID du système multivariable.....	637

## Chapitre 17

<b>I. Principe fondamental du contrôle flou .....</b>	<b>640</b>
I.1. Définition d'un système flou.....	640
I.2. Variables linguistiques .....	641
I.3. Fonctions d'appartenance .....	641
I.4. Règles floues .....	642
<b>II. Etapes de mise en œuvre d'un contrôleur flou .....</b>	<b>643</b>
II.1. Etape de fuzzification .....	643
II.2. Etape d'inférence .....	644
II.3. Etape de défuzzification.....	647
<b>III. Création, modification et sauvegarde d'un système flou .....</b>	<b>648</b>
III.1. Fonctions d'appartenance des variables d'entrée et sortie.....	648
III.2. Edition des règles floues .....	652
III.3. Description, rapport HTML du système flou .....	653
<b>IV. Modification d'un système existant .....</b>	<b>655</b>
IV.1. Modification d'une fonction d'appartenance .....	655
IV.2. Modification des règles .....	656
<b>V. Création d'un système flou par des VIs .....</b>	<b>657</b>
<b>VI. Régulateur flou .....</b>	<b>660</b>
VI.1. Sans intégration .....	660
VI.2. Avec intégration .....	662
<b>VII. Régulation floue de l'angle d'un pendule inversé.....</b>	<b>663</b>
VII.1. Modèle du pendule.....	663
VII.2. Sous-système du pendule .....	664

VII.3. Réponse impulsionnelle du pendule.....	666
VII.4. Test du contrôleur flou.....	667
VII.5. Régulation floue de l'angle du pendule .....	669

## Chapitre 18

<b>I. Résolution d'équations non linéaires .....</b>	<b>676</b>
I.1. Résolution d'équations non linéaires à une variable.....	676
I.2. Résolution de systèmes d'équations non linéaires .....	679
<b>II. Résolution d'équations et de systèmes différentiels.....</b>	<b>681</b>
II.1. Equations différentielles du premier ordre.....	681
II.1.1. Méthode d'Euler .....	681
II.1.2. Méthodes de Runge-Kutta d'ordre 2 et 4 .....	683
II.2. Systèmes différentiels d'ordre 1 .....	687
II.2.1. Méthode d'Euler .....	688
II.2.2. Méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 .....	694
<b>III. Résolution de système d'équations par des VIs de LabVIEW .....</b>	<b>705</b>
III.1. Résolution par l'algorithme d'Euler .....	705
III.2. Résolution par l'algorithme de Runge-Kutta d'ordre 4 .....	708
III.3. Système linéaire – solution symbolique et numérique .....	709

## Chapitre 19

<b>I. Calcul de moyenne, variance, mode et médiane.....</b>	<b>712</b>
I.1. Moyenne et variance .....	712
I.2. Ecarts, gamme et centile .....	713
I.3. Mode et médiane .....	717
I.4. Moments .....	718
<b>II. Coefficient de corrélation .....</b>	<b>719</b>
II.1. Coefficient de corrélation linéaire .....	719
II.2. Tracé d'histogramme .....	723
II.3. Kurtosis et Skewness d'une distribution.....	724
II.3.1. Kurtosis ou indicateur d'écrasement .....	724
II.3.2. Coefficient de Skewness ou de d'asymétrie .....	725
II.3.3. Exemple.....	725
<b>III. Lois de probabilité.....</b>	<b>727</b>
III.1. Lois continues.....	727
III.1.1. Loi de Gauss .....	727
III.1.2. Loi Gamma .....	728
III.1.3. Loi exponentielle .....	729
III.1.4. Loi du khi-2 ou khi carré.....	731
III.2. Lois discrètes.....	732
III.2.1. Loi de Bernoulli .....	732
III.2.2. Loi Binomiale .....	733
<b>IV. Théorème central limite ou théorème de limite centrale.....</b>	<b>734</b>
<b>V. Covariance et matrice de covariances .....</b>	<b>735</b>
V.1. Covariance de 2 variables aléatoires.....	735
V.1.1. Calcul de la covariance à partir du coefficient de corrélation linéaire .....	735
V.1.2. Estimation de la corrélation .....	736

V.2. Matrice de covariances .....	737
V.2.1. Application pour la taille et l'âge .....	738
V.2.2. Application pour les dimensions d'une pièce usinée .....	739
V.2.3. Matrice de covariances des bruits blancs .....	740
V.2.4. Matrice de covariances d'un bruit blanc et d'un signal sinusoïdal.....	741
V.2.5. Matrice de covariances d'un bruit blanc et d'un bruit rose .....	742

## Chapitre 20

<b>I. Régulateur proportionnel et Intégral PI avec les VIs express .....</b>	<b>746</b>
<b>II. Commandes PI et PID .....</b>	<b>748</b>
II.1. Commande Proportionnelle, Intégrale et Dérivée, PID .....	748
II.2. Commande proportionnelle et intégrale, PI numérique .....	750
<b>III. Le PID de « Conception de contrôle et simulation » .....</b>	<b>754</b>
III.1. Utilisation du VI PID de la palette Contrôle et simulation .....	754
III.2. PID analogique avec filtrage de la dérivée .....	755
<b>IV. Commande linéaire quadratique avec intégration LQI .....</b>	<b>757</b>
<b>V. Commande RST .....</b>	<b>761</b>
V.1. Utilisation des VIs du langage G .....	762
V.2. Utilisation du nœud MathScript et une boîte de calcul.....	765
<b>VI. Utilisation de l'outil « Conception de contrôle et simulation » .....</b>	<b>766</b>
VI.1. Régulation PID série analogique.....	766
VI.2. Régulation numérique par compensation de pôles .....	768
<b>VII. Régulation par le choix de la FTBF .....</b>	<b>770</b>
VII.1. Utilisation d'un nœud MathScript.....	771
VII.2. Utilisation d'une boucle For et une boîte de calcul.....	772
<b>VIII. Commande asymptotique et optimale dans l'espace d'état.....</b>	<b>774</b>
VIII.1. Commande asymptotique par placement de pôles.....	774
VIII.2. Commande optimale dans l'espace d'état.....	777
VIII.2.1. Régulation autour d'une consigne nulle .....	778
VIII.2.2. Régulation autour d'une consigne constante non nulle.....	780
VIII.2.3. Régulation autour d'une consigne variant dans le temps.....	781

## Chapitre 21

<b>I. Extraction d'une sinusoïde par filtrage .....</b>	<b>786</b>
<b>II. Filtres FIR et IIR .....</b>	<b>789</b>
II.1. Filtres FIR.....	790
II.1.1. Filtre FIR de type Express.....	790
II.1.2. Réponse impulsionnelle - Filtre dérivateur .....	792
II.1.3. Réponse indicielle – Filtre dérivateur.....	793
II.1.4. FFT - filtre dérivateur.....	794
II.1.5. FFT - filtre moyennneur .....	795
II.1.6. Filtre FIR définies par ses spécifications fréquentielles .....	796
II.1.7. FFT - filtre FIR quelconque .....	798
II.1.8. Filtrage d'un signal par un filtre FIR.....	799
II.2. Filtres IIR.....	800



II.2.1. Pôles et zéros, diagramme de Bode et réponse indicielle .....	800
II.2.2. Réponse impulsionnelle d'un filtre IIR .....	802
II.2.3. Réponse indicielle .....	803
II.2.4. Diagramme de Nyquist.....	804
II.2.5. Filtres numériques de Bessel et Chebyshev .....	805
II.2.6. Filtre de Yulewalker.....	808
II.2.7. Filtre Elliptique et Butterworth – Filtrage de la somme de 3 sinusoides.....	809
<b>III. Filtres analogiques.....</b>	<b>811</b>
III.1. Circuit RLC .....	811
III.2. Détermination du filtre de Butterworth par son expression théorique .....	813
III.2.1. Utilisation d'un nœud MathScript.....	816
III.2.2. Utilisation des VIs du langage G de LabVIEW .....	817
<b>IV. Filtrage d'un signal aléatoire .....</b>	<b>818</b>
IV.1. Filtre moyennneur – nœud de rétroaction .....	818
IV.2. Filtre moyennneur dans l'espace d'état .....	820
<b>V. Filtrage adaptatif.....</b>	<b>822</b>
V.1. Algorithme LMS - Filtre FIR d'horizon 2 .....	824
V.1.1. Utilisation des VIs du langage G.....	824
V.1.2. Utilisation du nœud MathScript .....	825
V.1.3. Utilisation des VIs de calcul matriciel .....	826
V.2. Algorithme RLS - Filtre FIR d'horizon 3 .....	827
V.3. Filtre antibruit.....	828
<b>VI. Identification de paramètres inconnus .....</b>	<b>830</b>
<b>VII. Prédiction de signal.....</b>	<b>832</b>

## Chapitre 22

<b>I. Filtre FIR moyennneur .....</b>	<b>836</b>
I.1. Réponse indicielle .....	836
I.1.1. Utilisation du nœud de rétroaction.....	836
I.1.2. Palette Conception de contrôle et simulation.....	837
I.2. Statistiques des bruits d'entrée et de sortie .....	838
I.3. Réponse en fréquences .....	839
<b>II. Filtres IIR et FIR .....</b>	<b>843</b>
<b>III. Signaux stochastiques monodimensionnels .....</b>	<b>845</b>
III.1. Corrélation et intercorrélacion .....	845
III.1.1. Utilisation des nœuds MathScript .....	845
III.1.2. Utilisation des VIs LabVIEW .....	851
III.2. Densité spectrale énergétique .....	852
<b>IV. Systèmes et signaux stochastiques multidimensionnels .....</b>	<b>855</b>
IV.1. Evolution des états $x_1$ , $x_2$ et signal de sortie du système.....	856
IV.2. Evolution des variances des composantes d'états et celle de la sortie.....	857
<b>V. Estimation de signaux et de modèles de systèmes discrets.....</b>	<b>857</b>
V.1. Algorithme des moindres carrés récursifs .....	857
V.2. Filtrage de Kalman .....	866
V.2.1. Estimation d'une constante.....	868
V.2.2. Estimation de l'état d'un processus dynamique .....	869

---

<b>VI. Régime permanent du filtre de Kalman .....</b>	<b>879</b>
<b>VII. Prédicteur de Kalman.....</b>	<b>882</b>
VII.1. Génération du signal par la fonction de transfert - Nœud MathScript .....	883
VII.2. Génération du signal par l'équation de récurrence - Boite de calcul.....	883
VII.3. Génération du signal par le modèle d'état.....	884
VII.4. Génération du signal par le prédicteur de Kalman .....	886